



⑯ Aktenzeichen: 197 10 171.2
⑯ Anmeldetag: 12. 3. 97
⑯ Offenlegungstag: 17. 9. 98

⑯ Anmelder:
Hesselbach, Jürgen, Prof. Dr.-Ing., 38300
Wolfenbüttel, DE

⑯ Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

⑯ Erfinder:
Hesselbach, Jürgen, Prof. Dr.-Ing., 38300
Wolfenbüttel, DE; Plitea, Nicolae, Prof. Dr.-Ing.,
Cluj-Napoca, RO; Kerle, Handfried, Dr.-Ing., 38108
Braunschweig, DE; Thoben, Ralf, Dipl.-Ing., 38114
Braunschweig, DE

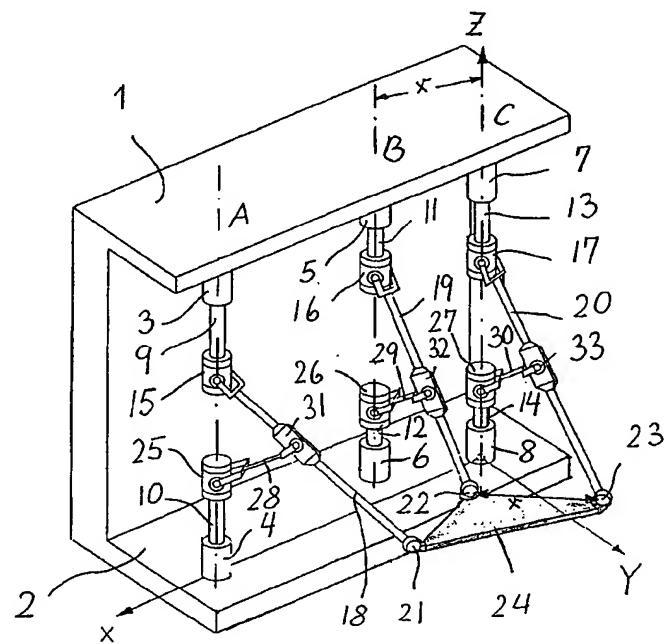
⑯ Entgegenhaltungen:
GB 13 72 431
US 53 78 282 A
Devaquet, G., Brauchli, H.: A simple mechanical
model for the DELTA-Robot, In: Robotersysteme 8
(1992), H. 4, S. 193-199;
Neugebauer, R., Wieland, F.: Neue Werkzeug-
maschinenstrukturen, In: ZWF 91 (1996), H. 7-8,
S. 363-366;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑯ Manipulator mit Parallelstruktur

⑯ Die Erfindung betrifft einen Manipulator mit Parallelstruktur und angetriebenen Führungselementen zum gemeinsamen (parallelen) Führen einer Arbeitsplattform (24) in einem durch die X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum. Um einen insbesondere als Parallel-Miniroboter für das Handhaben kleiner und kleinsten Objekte geeigneten Manipulator zu schaffen, sind erfindungsgemäß sechs Linearantriebe, eine dreifach geführte Arbeitsplattform sowie drei zweifach angetriebene Führungsstäbe vorgesehen. Insbesondere für ebene Bewegungen lassen sich optional die Antriebe für eine Klasse von Bahnkurven von Punkten der Arbeitsplattform entkoppeln.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Manipulator mit Parallelstruktur und angetriebenen Führungselementen zum gemeinsamen (parallelen) Führen einer Arbeitsplattform in einem durch die X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum.

Manipulatoren mit Parallelstruktur (Parallelroboter) bauen auf geschlossenen kinematischen Ketten auf. Mehrere Gelenkkarne oder Führungsketten bewegen gemeinsam (parallel) eine Arbeitsplattform gegenüber einer ruhenden Gestellplattform. Dabei ist im allgemeinen jeder Führungskette ein Antrieb als Dreh- oder Schubantrieb zugeordnet.

Zu den bekanntesten, auch auf internationalen Tagungen vorgestellten Prototypen gehört der DELTA-Roboter von Clavel (Clavel, R.: DELTA, a Fast Robot with Parallel Geometry. Proc. 18th ISIR, 1988, S. 91–100). Der DELTA-Roboter hat drei Bewegungsfreiheiten und kann somit einen Punkt seiner Arbeitsplattform innerhalb des nutzbaren Arbeitsraums in einem räumlichen X-Y-Z-Koordinatensystem positionieren. Die Orientierung der Arbeitsplattform bleibt dabei unveränderlich parallel zur Gestellplattform. Hierfür sorgen drei von drei Drehantrieben bewegte Führungsketten, die – abgesehen von einem Antriebsarm – drei räumliche Parallelkurbelgetriebe darstellen.

Aus der Fachliteratur bekanntgeworden ist ferner der HEXA-Roboter von PIERROT (Pierrrot, F.; Uchiyama, M.; Dauchez, P.; Fournier, A.: A New Design of a 6-DOF Parallel Robot. Jl. of Robotics and Mechatronics 2 (1990) 4, S. 308–315). Der HEXA-Roboter hat sechs Bewegungsfreiheiten und kann seine Arbeitsplattform innerhalb des nutzbaren Arbeitsraums sowohl positionieren als auch orientieren hinsichtlich der Winkelstellungen um die X-, Y- und Z-Achse. In einer symmetrischen Ausführung besitzt der Roboter sechs gleichartige, von sechs Drehantrieben bewegte Führungsketten zwischen Gestellplattform und Arbeitsplattform.

Einen zusammenfassenden Überblick über Parallelroboter geben zwei Ausgaben der Zeitschrift Journal of Robotic Systems (New York (NY), USA: John Wiley & Sons, Inc., 10, 1993, 5; 12, 1995, 12).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen einfachen Manipulator der eingangs beschriebenen Bauart zu entwickeln, der ein hochgenaues Handhaben und Führen (Positionieren und Orientieren) im Raum ermöglicht und insbesondere auch als Parallel-Miniroboter besonders für das Handhaben kleiner und kleinster Objekte geeignet ist.

Ausgehend von dem eingangs beschriebenen Manipulator wird diese Aufgabe erfindungsgemäß durch folgende Merkmale gelöst:

- drei gestellfeste, parallel zueinander und mit Abstand voneinander angeordnete Schwenkachsen;
- jeder Schwenkachse ist eine um diese Schwenkachse schwenkbare Antriebsebene zugeordnet;
- jede dieser drei Antriebsebenen weist einen von einem ersten und einem zweiten Linearantrieb beaufschlagten Führungsstab auf, der mit seinem einen Ende über ein Kugelgelenk an der Arbeitsplattform angreift;
- die beiden Linearantriebe jeder Antriebsebene beaufschlagen jeweils ein aktives, auf der dieser Antriebsebene zugeordneten Schwenkachse verschiebbare Schubglied mit zwei nachgeordneten Drehgelenken mit senkrecht aufeinanderstehenden Drehachsen;
- das erste dieser beiden Schubglieder greift an dem von dem genannten Kugelgelenk abgewandten Ende des zugeordneten Führungsstabes an, während das zweite Schubglied über einen Stützstab an einem Dreh-

gelenk des Führungsstabes angreift;

f) das Drehgelenk jeder Antriebsebene ist auf der halben Führungsstablänge positioniert, die der Länge des Stützstabes entspricht;

g) der Abstand zwischen den beiden Schwenkachsen entspricht dem Abstand zwischen den beiden Kugelgelenken der beiden an der Arbeitsplattform angreifenden, diesen beiden Schwenkachsen zugeordneten Führungsstäbe.

Während bei allen bisher bekanntgewordenen Parallelrobotern für das Abfahren einer Geraden oder einer Bahnkurve in einer Ebene alle sechs Antriebe bewegt werden müssen, können erfindungsgemäß für Bahnkurven, die Punkte der Arbeitsplattform in den drei bevorzugten kartesischen X-Y-, X-Z- und Y-Z-Ebenen beschreiben sollen, die Antriebe entkoppelt werden, d. h. es müssen nicht alle sechs Antriebe bewegt werden. So lassen sich z. B. allgemeine ebene Bewegungen parallel zur X-Y-Ebene erzeugen, wenn die zweiten Schubglieder die gleiche konstante Z-Koordinate besitzen.

Die nicht angetriebenen (passiven) Gelenke sind Dreh-, Kardan- oder Kreuzgelenke und Kugelgelenke, die durch vollkommen spielfreie äquivalente Festkörpergelenke ersetzt werden können. Die Anzahl der Führungsstäbe ist zumindest drei. Jeder Führungsstab sowie jeder Stützstab sind gleichartig aufgebaut und lassen sich einfach und somit kostengünstig und in Leichtbauweise fertigen. Die Zugänglichkeit der Arbeitsplattform ist von fünf Seiten im Raum gegeben, nämlich von oben/unten, rechts/links und von vorn. Letzteres ist wichtig für das Zuführen von Material.

Abgesehen von der vorstehend beschriebenen Entkopplung der Antriebe ist es grundsätzlich möglich, mit den sechs Linearantrieben innerhalb des nutzbaren Arbeitsraums eine beliebige Position und Orientierung der Arbeitsplattform zu erreichen. Diese sechs Linearantriebe ermöglichen maximal sechs Bewegungen der Arbeitsplattform im Raum, nämlich drei Schiebungen und drei Drehungen bezüglich der X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems (Freiheitsgrad F=6). Optional lassen sich – wie vorstehend erläutert wurde – die Antriebe für eine Klasse von Bahnkurven von Punkten der Arbeitsplattform entkoppeln (Freiheitsgrad F<6).

Die dreifach geführte Arbeitsplattform eignet sich insbesondere zum Handhaben kleiner und kleinster Objekte.

Die Positionierung der ersten Schwenkachse gegenüber den anderen beiden Schwenkachsen ist grundsätzlich veränderbar.

Um eine hohe Dynamik zu gewährleisten, ist es zweckmäßig, wenn die Führung der Arbeitsplattform gegenüber einer ruhenden oberen und unteren Plattform erfolgt, wobei die ersten Linearantriebe jeder Antriebsebene an der oberen Plattform und die zweiten Linearantriebe an der unteren Plattform montiert sind.

Zur Erzielung einer hohen Struktursteifigkeit ist es vorteilhaft, wenn die beiden Schubglieder jeder Antriebsebene auf einer gemeinsamen ortsfesten, in der zugeordneten Schwenkachse liegenden Führungsstange geführt sind. Hierbei ist es ferner zweckmäßig, wenn die drei Führungsstangen die obere und die untere Plattform starr miteinander verbinden und die von der Arbeitsplattform abgewandte Rückseite des Manipulators bilden.

Weitere Merkmale der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche und werden in Verbindung mit weiteren Vorteilen der Erfindung anhand von Ausführungsbeispiele näher erläutert.

In der Zeichnung sind zwei als Beispiele dienende Ausführungsformen der Erfindung dargestellt. Es zeigen:

Fig. 1 in perspektivischer Ansicht einen Parallelroboter mit drei baugleichen Antriebsebenen;

Fig. 2 in Seitenansicht und in gegenüber **Fig. 1** vergrößertem Maßstab die erste der drei Antriebsebenen und

Fig. 3 eine abgewandelte Ausführungsform in einer Darstellung gemäß **Fig. 2**.

Der in **Fig. 1** dargestellte Parallelroboter weist ein Gestell auf, das sich aus einer oberen Plattform 1 und einer unteren Plattform 2 zusammensetzt, die auf ihrer Rückseite in beliebiger Weise miteinander verbunden sind. In diesem Gestell 1, 2 sind sechs Linearantriebe 3, 4, 5, 6, 7, 8 angeordnet, von denen jeweils zwei Linearantriebe 3, 4 bzw. 5, 6 bzw. 7, 8 auf einer gestellfesten Achse A bzw. B bzw. C angeordnet sind. Letztere sind senkrecht zu den Plattformen 1, 2 ausgerichtet und liegen parallel zueinander. Die Achse A bildet somit die Bewegungssachse für die beiden Linearantriebe 3, 4, die Achse B bildet die Bewegungssachse für die Linearantriebe 5, 6 und die Achse C bildet die Bewegungssachse für die Linearantriebe 7, 8. Die Linearantriebe 3 bis 8 können Pneumatik- oder Hydraulikzylinder, Servomotoren mit drehender Abtriebswelle und nachgeordneten Kugelgewinde- spindeln, Servo-Linearmotoren oder Piezo-Linearaktoren sein.

Jeder der Linearantriebe 3 bis 8 bewegt einen ihm zugeordneten Linearführungsstab 9 bis 14 auf der zugeordneten Achse A, B bzw. C.

Die drei oberen Linearführungsstäbe 9, 11, 13 sind jeweils über zwei nachgeordnete Drehgelenke 15, 16, 17 mit senkrecht aufeinanderstehenden Drehachsen mit dem einen Ende eines Führungsstabes 18, 19, 20 verbunden, die mit ihrem jeweils anderen Ende über je ein Kugelgelenk 21, 22, 23 (drei Drehfreiheiten) eine Arbeitsplattform 24 tragen. Die Gelenkkombinationen 9/15, 11/16, 13/17 können als Drehschubgelenk mit einer zusätzlichen, senkrecht zur Drehschubachse angeordneten Drehachse, als reines Schubgelenk mit einem zusätzlichen Kugelgelenk oder aber – wie dargestellt – als reines Schubgelenk mit einem zusätzlichen Kreuzgelenk ausgebildet sein.

Die drei unteren Linearführungsstäbe 10, 12, 14 sind jeweils über eine den oberen Gelenkkombinationen entsprechende Gelenkkombination 10/25, 12/26, 14/27 über jeweils einen Stützstab 28, 29, 30 an demjenigen Führungsstab 18, 19, 20 angelenkt, der mit dem jeweils axial fluchtenden oberen Linearführungsstab 9, 11, 13 in Verbindung steht. Die Anlenkung jedes Stützstabes 28, 29, 30 an dem ihm zugeordneten Führungsstab 18, 19, 20 erfolgt über ein Drehgelenk 31, 32, 33 (mit einer Drehfreiheit), dessen Gelenkkäse die Längsmittellinie des zugeordneten Führungsstabes 18, 19, 20 senkrecht schneidet und zwar genau auf der halben Länge des Führungsstabes. Die Länge 1 jedes Stützstabes 28, 29, 30 entspricht der halben Länge des zugeordneten Führungsstabes 18, 19, 20, wie die **Fig. 2** und 3 deutlich machen.

Der Abstand x zwischen den beiden gestellfesten Achsen B und C entspricht genau dem Abstand zwischen den beiden Kugelgelenken 22, 23, über die die beiden Führungsstäbe 19, 20 an der Arbeitsplattform 24 angreifen. Letztere dient als Werkzeug- oder Werkstückhalter.

Insgesamt bildet diese Konstruktion ein räumliches Führungsgtriebe auf der Basis geschlossener kinematischer Ketten mit sechs Freiheiten. Die Konstruktion umfaßt drei baugleiche Antriebsebenen, die jeweils ein gleichschenkliges Dreieck mit den Dreieckspunkten 15, 25, 31 bzw. 16, 26, 32 bzw. 17, 27, 33 bilden.

Die Linearführungsstäbe 9 bis 14, die Führungsstäbe 18, 19, 20 sowie die Stützstäbe 28, 29, 30 können jeweils aus Stangenmaterial mit Kreisquerschnitt bestehen. Um die Drehung der Antriebsebenen 15/25/31, 16/26/32 und

17/27/33 um die ihnen zugeordneten gestellfesten Achsen A, B, C zu ermöglichen, sind die Enden der Linearführungsstäbe 9 bis 14 an diesen Anschlußstellen mit geeigneten Lagerlementen versehen.

5 **Fig. 2** zeigt die erste der drei baugleichen Antriebsebenen der Ausführungsform gemäß **Fig. 1**. Aus getriebetechnischer Sicht handelt es sich bei dieser Antriebsebene um ein ebenes fünfgliedriges Getriebe mit zwei Linearantrieben in Form aktiver Schubgelenke und drei passiven Drehgelenken. Dabei sind die in **Fig. 2** mit der Länge l gekennzeichneten Glieder in allen drei Antriebsebenen gleich lang. Die drei Dreiecke, die jeweils um eine der Achsen A, B, C verschwenken, bleiben während der Bewegung des Roboters aufrechterhalten.

15 **Fig. 3** zeigt eine gegenüber **Fig. 2** abgewandelte Ausführungsform. Hier liegt in der Achse A eine zwischen der oberen Plattform 1 und der unteren Plattform 2 fest montierte Führungsstange 34, auf der die Schubglieder mit den Kreuzgelenken 15, 25 durch den ihnen zugeordneten Linearantrieb 3 bzw. 4 und den zwischengeschalteten Linearführungsstab 9 bzw. 10 verschoben werden können. Die Linearführungsstäbe 9, 10 liegen in diesem Fall also parallel zur Achse A bzw. zu der Führungsstange 34. Die beiden anderen Antriebsebenen sind analog ausgebildet, so daß der so 25 ausgebildete Parallelroboter in seinen Achsen A, B und C jeweils eine starre Führungsstange 34 aufweist.

Die dargestellten Ausführungsbeispiele zeigen, daß alle sechs Linearantriebe 3 bis 8 in der Gestellplattform gelagert sind, also bei den Arbeitsbewegungen des Parallelroboters 30 nicht mitbewegt werden. Dadurch sind eine hohe Dynamik und durch die Isolierung der Antriebe vom Arbeitsraum auch eine hohe Reinraumtauglichkeit gewährleistet. Das Parallelprinzip führt zu einer hohen Struktursteifigkeit, die bei einer Ausführungsform gemäß **Fig. 3** durch die Anordnung 35 der drei starren Führungsstangen 34 noch erhöht wird.

Die Drehgelenke 31, 32, 33 bilden die Mittelpunkte der drei gleich langen Führungsstäbe 18, 19, 20 und befinden sich somit auch stets in der Z-Mitte der zugeordneten Gelenke 15/25, 16/26 und 17/27 auf den zueinander parallelen 40 Achsen A, B und C. Die Führungsstäbe 19, 20 bilden Teile eines räumlichen Parallelkurbelgetriebes, bleiben also parallel zueinander, da der Abstand x zwischen den Achsen B und C dem Abstand zwischen den Kugelgelenken 22 und 23 auf der Arbeitsplattform 24 entspricht. Da auch die Stützstäbe 28, 29, 30 gleich lang und halb so lang sind wie die Führungsstäbe 18, 19, 20, können für Bahnkurven, die Punkte der Arbeitsplattform 24 in den drei bevorzugten kartesischen X-Y-, X-Z- und Y-Z-Ebenen beschreiben sollen, die Linearantriebe 3 bis 8 entkoppelt werden; es müssen also 50 nicht alle sechs Linearantriebe bewegt werden. So lassen sich z. B. allgemeine ebene Bewegungen parallel zur X-Y-Ebene erzeugen, wenn die Gelenke 25, 26, 27 die gleiche konstante Z-Koordinate besitzen.

Patentansprüche

1. Manipulator mit Parallelstruktur und angetriebenen Führungselementen zum gemeinsamen (parallelen) Führen einer Arbeitsplattform (24) in einem durch die X-, Y- und Z-Achse eines rechtwinkligen Koordinatensystems definierten Raum, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

- a) drei gestellfeste, parallel zueinander und mit Abstand voneinander angeordnete Schwenkachsen (A, B, C);
- b) jeder Schwenkachse (A, B, C) ist eine um diese Schwenkachse schwenkbare Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) zugeordnet;

c) jede dieser drei Antriebsebenen (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) weist einen von einem ersten und einem zweiten Linearantrieb (3, 4; 5, 6; 7, 8) beaufschlagten Führungsstab (18; 19; 20) auf, der mit seinem einen Ende über ein Kugelgelenk (21; 5 22; 23) an der Arbeitsplattform (24) angreift;

d) die beiden Linearantriebe (3, 4; 5, 6; 7, 8) jeder Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) beaufschlagen jeweils ein aktives, auf der dieser Antriebsebene zugeordneten Schwenkachse (A, B, 10 C) verschiebbares Schubglied (9, 10; 11, 12; 13, 14) mit zwei nachgeordneten Drehgelenken (15, 25; 16, 26; 17, 27) mit senkrecht aufeinanderstehenden Drehachsen;

e) das erste dieser beiden Schubglieder (15; 16; 15 17) greift an dem von dem genannten Kugelgelenk (21; 22; 23) abgewandten Ende des zugeordneten Führungsstabes (18; 19; 20) an, während das zweite Schubglied (25; 26; 27) über einen Stützstab (28; 29; 30) an einem Drehgelenk (31; 20 32; 33) des Führungsstabes (18; 19; 20) angreift;

f) das Drehgelenk (31; 32; 33) jeder Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) ist auf der halben Führungsstablänge (1) positioniert, die der Länge (1) des Stützstabes (28, 29, 30) entspricht; 25

g) der Abstand (x) zwischen den beiden Schwenkachsen (B, C) entspricht dem Abstand (x) zwischen den beiden Kugelgelenken (22, 23) der beiden an der Arbeitsplattform (24) angreifenden, diesen beiden Schwenkachsen (B, C) zugeordneten Führungsstäbe (19, 20).

2. Manipulator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die dem Schubglied (9, 10; 11, 12; 13, 14) nachgeordneten Drehgelenke (15, 25; 16, 26; 17, 27) Kardan- oder Kreuzgelenke sind. 35

3. Manipulator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Drehachsen der Drehgelenke (31, 32, 33) der Führungsstäbe (18, 19, 20) die Längsmittellinie des zugeordneten Führungsstabes (18, 19, 20) senkrecht schneiden. 40

4. Manipulator nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Führung der Arbeitsplattform (24) gegenüber einer ruhenden oberen und unteren Plattform (1, 2) erfolgt, wobei die ersten Linearantriebe (3, 5, 7) jeder Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 45 30) an der oberen Plattform (1) und die zweiten Linearantriebe (4, 6, 8) an der unteren Plattform (2) montiert sind.

5. Manipulator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Schubglieder (15, 25; 16, 26; 17, 27) jeder Antriebsebene (A/18, 28; B/19, 29; C/20, 30) auf einer gemeinsamen ortsfesten, in der zugeordneten Schwenkachse (A, B, C) liegenden Führungsstange (34) geführt sind. 50

6. Manipulator nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die drei Führungsstangen (34) die obere und die untere Plattform (1, 2) starr miteinander verbinden und die von der Arbeitsplattform (24) abgewandte Rückseite des Manipulators bilden. 55

- Leerseite -

Fig. 1

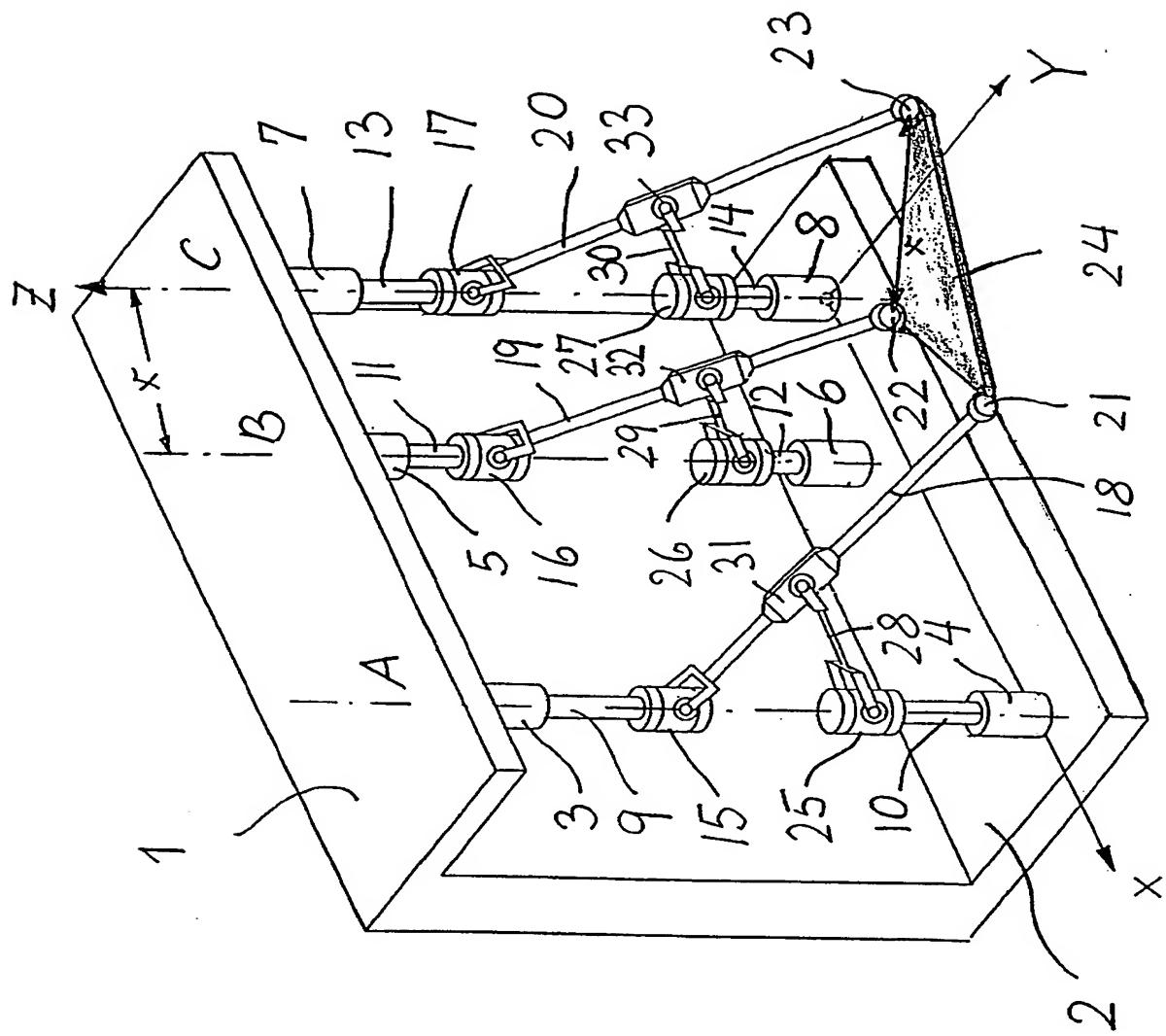


Fig. 2

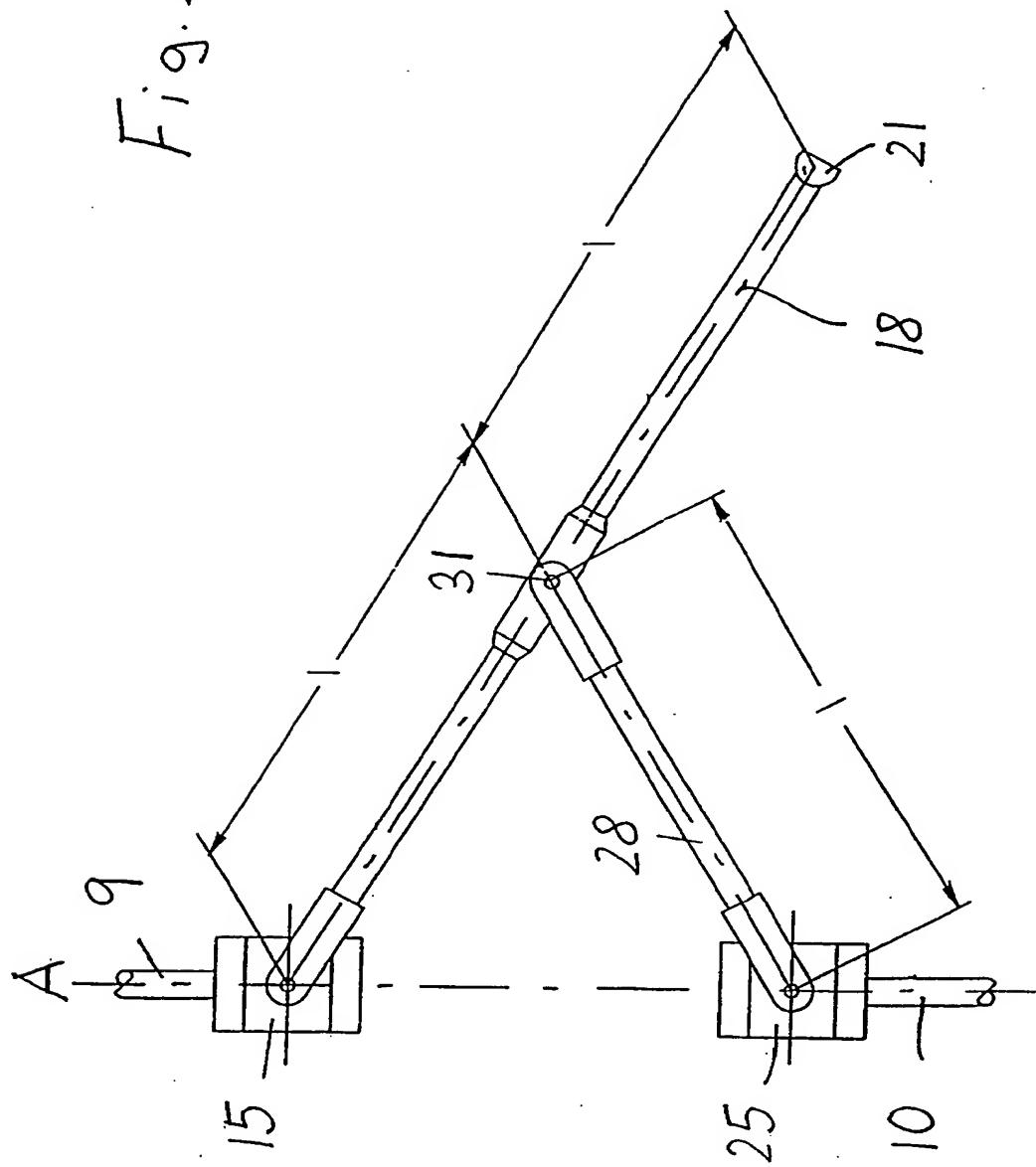


Fig. 3

